UÇAK BAKIMINDA DARBE HASARININ TAHRİBATSIZ KONTROLÜ

Müge Armatlı Kayrak
Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Eskişehir
mkayrak@anadolu.edu.tr

ÖZET

Darbe yükleri uçak yapısında çeşitli hatalara neden olurlar. Bazen yükler yüzeyde küçük hatalar oluştururlar. Diğer taraftan yüksek enerjili darbe yükleri yapıyı kırabilir. Yabancı cisim ve kuş çarpması yağmur, dolu darbe yüklerine örnek olarak verilebilir. Bakım çalışmaları sırasında, alet düşmesinin darbe etkisi bile mümkündür.

Tabakalı kompozit malzemeler için düşük enerjili darbe yükleri, malzemenin içinde sadece ince çizgi ayrılmalarına neden olabilirler. Metalik yapılar için ultrasonik kontrol, radyografik kontrol gibi bilinen yöntemler kullanılabilir. Yine metalik elemanlar için, D-sight tekniği geniş yüzeylerdeki küçük hataların tespitinde kullanılabilir. Düşük yoğunluklu olmalarından ve ametal bileşenlerinden dolayı kompozit malzemeler farklı tekniklerle kontrol edilmelidirler.

Bu çalışmada uçak komponentleri metal ve kompozit olarak sınıflandırılmıştır. Her bir grup için etkili yöntemler listelenmiştir. Sonuç olarak yeni tahribatsız kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerdeki gelişmeler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçak bakımı, darbe hasarları, tahribatsız kontrol

Non Destructive Inspection of Impact Damage in the Aircraft Maintenance

ABSTRACT

Impact loads cause several type of defects in the aircraft structure. Sometimes the loads cause small defects on the surface. On the other hand high energy impact loads may break the structure. Foreign object and bird strike, rain, hail can be given as impact load examples. During improper maintenance practices the impact effect of a falling tool is also possible.

For laminated composite materials, low energy impact loads can be a cause for delamination, only as a thin line, inside the materials. Conventional non-destructive inspection methods such as ultrasonic control and X-ray control can be used for metallic structure. Also for metallic components D-sight method can be used for determining small defects on large surfaces. Since composite materials have low densities and include ametal compounds, they should be inspected by using different techniques.

In this study aircraft components are classified as metallic and composite. Effective techniques are listed for each group. As a conclusion, new non-destructive control methods and evaluation of these methods are discussed.

Keywords: Aircraft maintenance, impact damages, non-destructive inspection

Geliş tarihi : 08.03.2012
Kabul tarihi : 29.06.2012

Armatlı, Kayrak, M. 2012. "Uçak Bakımında Darbe Hasarının Tahribatsız Kontrolü," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 629, s. 34-39

1. GİRİŞ

Hat bakımda uygulanan çevresel yol kontrolünde uçağın çevresi dolaşılarak yapılan gözle kontrolde ve büyük bakımlarda kısmen veya büyük oranda uçak yapısının sökülerek kontrolünde yapı yakından incelenir. Ayrıca, detaylı olarak gözle kontrol ve hassas boyutlu hataların tespiti için özel yöntemlerle kontrol gereklidir. Üretici bakım planlarını hazırlarken de öngörü olarak riskli bölgeleri tespit ederek, bunların üzerinde kullanılacak etkili yöntemleri listelemelidir. Bu aşamada yapılan araştırma çalışmalarıyla yapının darbe dayanımı ve darbe yüklerinin oluşturacağı hasar türleri belirlenir. Uçak yapısında öngörülmüş olan darbe riskine açık bölgeler şunlardır [1].

- Kargo ve bagaj yükleme kapıları
- Bakım giriş kapakları
- Uçağın dış yüzeyleri
- Burun radar konisi
- Kanat hücum kenarları
- Motor hava alığı bölgesi ve iç elemanları

Amerikan Federal Havacılık Otoritesi Federal Aviation Administration (FAA) askeri ve sivil uçaklar için, tahribatsız kontrol Non-destructive Inspection (NDI) uygulamalarıyla hata ilerlemesini peryodik olarak kontrol edip, hata toleranslı dizayn ve sertifikasyona izin vermiştir. Bu gelişme 1970'de sabit kanatlı uçaklar için etkin olarak uygulamaya geçmiş, 1980'de ise gaz türbinli motorlar için uygulanmaya başlamıştır [2].

Tahribatsız kontrol kullanımıyla uçak bakımında darbe hasarı tespit edilir ve onarım veya sadece hata izleme şeklinde kararlar alınabilir. Uçak elemanları darbe yüklerine dayanıklı ve hata toleranslı yapılardır. Bu yapılarda küçük darbe hasarları hızla ilerlemez, dolayısıyla hata ilerlemesini izlemek için bize zaman tanırlar.

Uçak bakımında incelenmesi gereken yorulma ve korozyon hasarıyla birlikte darbe hasarı da önemli bir yer tutar. Darbe hasarının yüzeye açık olması yüzey kalitesini bozduğu için yorulma dayanımını azaltır. Benzer olarak boya ve kaplama tabakasına zarar verebileceğinden korozyonu da tetikler. Daima darbe hasarının diğer önemli hasarlarla bileşimi incelenmelidir. Yorulmuş veya koroze olmuş bir yüzeyin darbe hasarı alması, yapının hata toleransları dışına çıkmasını hızlandıracaktır.

Metal yüzeylerde ve kompozit yüzeylerde oluşan darbe hasarları farklılık gösterirler. Metal yüzeylerde daha çok yüzeyin engebeli bir hâl alması şeklinde kendini gösterir. Tabakalı yapıda olan uçak kompozitlerinde küçük darbe yükleri, yüzeyde hiçbir hasar oluşturmazken tabakalar arasında ince çizgi şeklinde ayrılmalara neden olmaktadır [3].

2. DARBE HASAR TESPİTİNDE KULLANILAN TAHRİBATSIZ KONTROL YÖNTEMLERİ

Darbe hasarlarının tahribatsız kontrolü için, servisten gelen uçak elemanlarının genel bir yüzey temizliği bütün yöntemlerden önce gereklidir.

2.1 Gözle ve Optik Aletlerle Kontrol

Gözle kontrol, makro boyutlu ve yüzeye açık darbe hasarlarının tespitinde kullanılabilir. Uçak bakımında ekonomik ve uygulanması kolay olan gözle kontrol, öncelikle tercih edilen ve en çok kullanılan yöntemdir [4]. Darbe hasarları uçak dış yüzeylerinde oluşacağından, tespitinde gözle kontrol etkilidir. Ancak, özellikle hat bakımda komple uçağın kontrolü için uygulanan çevresel yol analizinde, yapı ile uygulayıcı arasında metrelerce mesafe olduğundan, büyük darbe izleri görülebilir.

Hat bakımında, uçak yapısı burundan başlanarak tüm çevresi dolaşılır ve yine başlanan noktaya ulaşılarak kontrol tamamlanır [1]. Bu sırada burun radar konisinin ve gövde dış yüzeylerinin darbe hasar analizi yapılır. Burun iniş takımı lastikleri ve dikmesi kontrol edilir. Kanat hücum kenarları darbe yükleri açısından riskli bölgelerdir. Motor tutucuları, motor hava alığı ve türbin palleri ayrıca, egzoz bölgesi darbe hasarı için kontrol edilir. Özellikle motor iç bölgeleri optik aletlerle incelenerek, daha küçük boyutlu hasarlar, söküm yapılmaksızın ulaşılması güç olan bölgeler kolayca kontrol edilir.

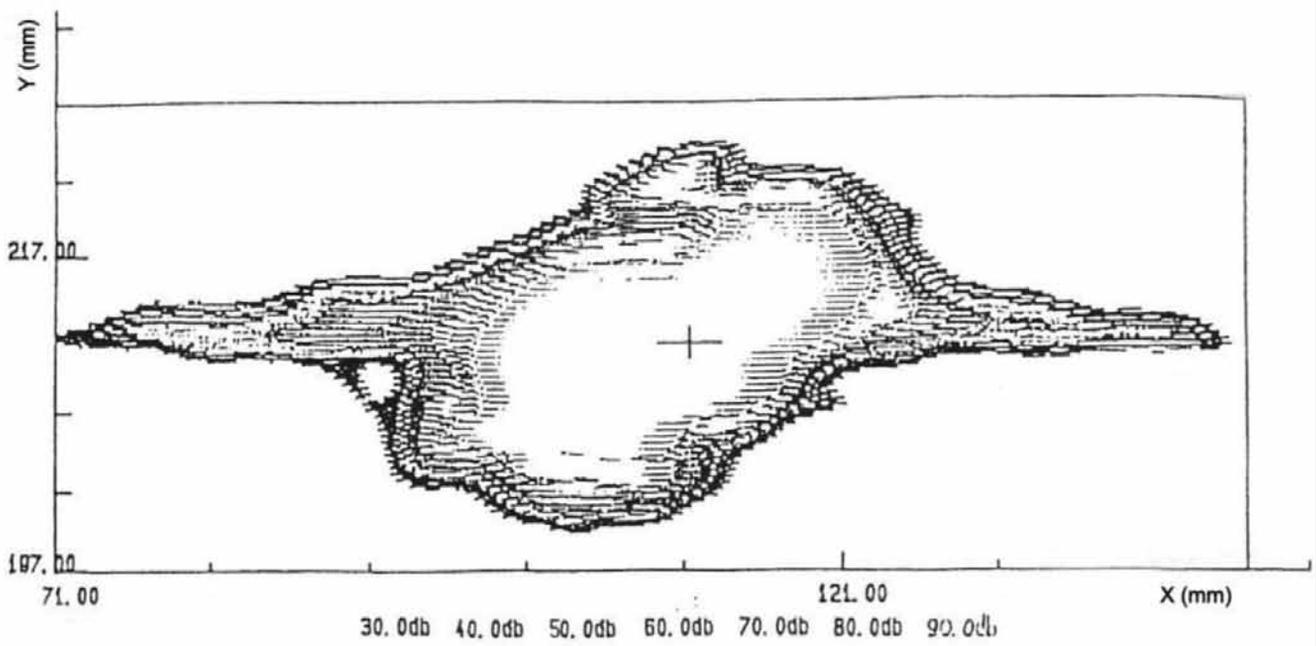
Kanat firar kenarları, kanatçıklar, hız frenleri, flaplar incelenir. Uçağın arka gövde kısmı, kuyruk grubu yine darbe hasarı için kontrol edilen kısımlardır.

2.2 Ultrasonik Kontrol

Darbe hasar analizinde ultrasonik kontrolün, bilinen metal alaşımları için uygulanması daha kolaydır. Ancak, uçak parçalarının ince kesitli olmaları, probun yakın alan problemi dikkate alındığında, uygulama kısıtı oluşturur [5].

Probun yakın alanı içinde ultrasonik enerjinin türbülanslı olması nedeniyle, bu alanın elimine edilmesi için su içinde test önerilmektedir. Daldırma testi, uçak bakımında uygulama güçlüğü nedeniyle verimli olmazken daha çok araştırma geliştirme faaliyetlerinde etkili olmaktadır.

Ultrasonik kontrol, kompozit levhaların testinde etkilidir. Özellikle gelişmiş C-tarama sistemiyle otomatik test imkanı vardır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, darbe hasarının alt tabakalarda oluşturduğu ayrılmalar belirlenebilir [6]. Yüzey dalgalarıyla temas testi, ince levhalar için darbe hasarını belirlemede etkili olmaktadır [7]. Karbon epoksi ±45° açılı 6 tabakalı bir kaplama plakasındaki 40J değerindeki bir darbe enerjisi için yüzeyde çökme, kırılma ve matris çatlaklarının tespitinde C-tarama ile 3 mm^2 lik iz alanı görülebilmektedir. Bu görülebilirlik, gözle kontrolle 600 mm^2 iz alanı değerine yükselmektedir [8].

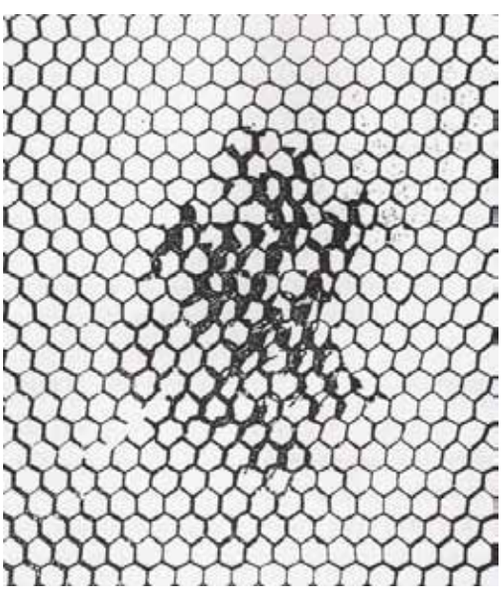


Şekil 1. Karbon Epoksi Levhada Derbe Hasarının Ultrasonik C-Scan Tekniğiyle Alınan Görüntüsü [6]

2.3. Radyografik Kontrol

Radyografi yöntemiyle metal alaşımlardaki, küçük darbe hasarları üç boyutlu olmaları nedeniyle belirlenebilir.

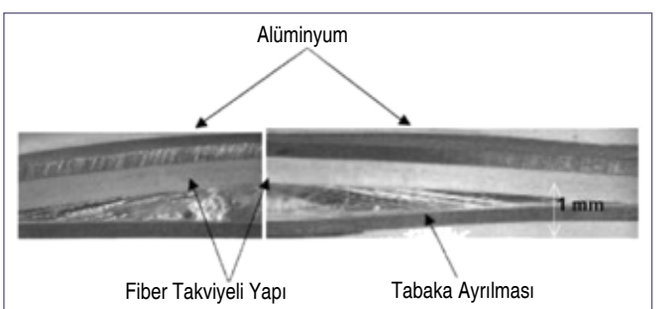
Ancak, yöntem uçak küçük bakımlarında tercih edilmez. Elektromanyetik ışınların çevre sağlığına zararlı oluşu apronda uygulamaları güçleştirir.Kompozit yapılar için tabakalar arası ince ayrılmaları, ışınlar doğrultusunda boyutu olmayan iki boyutlu hatalar için, yöntem etkisiz olduğundan dolayı göremez. Petek yapılı kompozit levhalarda, petek içindeki su birikiminin ve petek yapıdaki darbe ezilmelerinin tespiti mümkündür.



Şekil 2. Petek Yapıdaki Darbe Hasarının X-Ray Görüntüsü [9]

Şekil 2'de petek yapıdaki ezilme hasarının radyografik görüntüsü verilmiştir [9]. Petek yapı içindeki su yüksekliği, petek yüksekliğinin en az %10'u kadarsa yöntem etkili olmaktadır [10].

Nötron radyografisi ise, elektromanyetik ışın olarak nötron ışınlarının kullanımıyla uygulanmaktadır. Yöntem ince kesitli ve düşük yoğunluklu metal alaşımlarda ve hidrojen içeren kompozit yapılarda etkili olmaktadır. Kompozit yapı içindeki su birikiminin tespitinde, nötron radyografisi etkili bir yöntemdir. Kaynak olarak genellikle küçük boyutlu olması nedeniyle, radyoizotop elementlerden yararlanılır. Yöntemin başlıca dezavantajları, maliyetli oluşu ve nötron ışınlarının



Şekil 3. Glare Kompozit Yapıda Oluşan Darbe Hasarının X-Ray Görüntüsü [9]

enerjilerinin "X" ışınlarından daha düşük olmasıdır [11]. Şekil 3'te metal-ametal tabakalı kompozit yapı olarak Glare plakada, 40 J değerindeki darbe enerjisiyle oluşturulan hasarların radyografik görüntüsü verilmiştir [12].

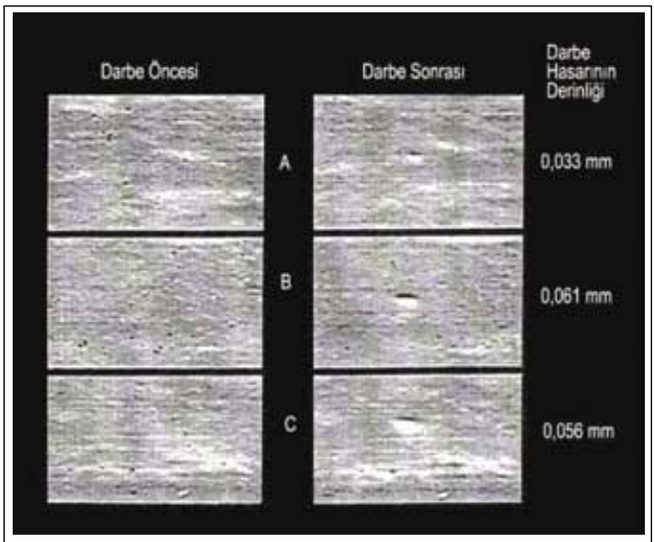
2.4 D-Görüntüleme Tekniğiyle Kontrol

Bu yöntem geniş yüzeylerin bir seferde kontrol edilmesine imkan tanır. Yöntem hem metaller hem de kompozitler için uygulanabilir. Bir ışık kaynağı tarafından test parçası yüzeyine gönderilen ışık demeti buradan bir yansıtıcı perdeye iletilerek, perdeden tekrar test parçası yüzeyine ve buradan da bir kameraya iletilir.

Yüzeyde oluşmuş mikro boyutlu darbe engebeleri tespit edilebilir. Yöntem ayrıca, kompozit yapılardaki içyapı tabaka ayrılmalarını da belirlemede etkilidir. Şekil 4'te karbon epoksi yüzeyde bulunan farklı boyutlardaki darbe hasarlarının D-görüntüleme (D-sight) tekniğiyle elde edilmiş görüntüleri verilmiştir [13].

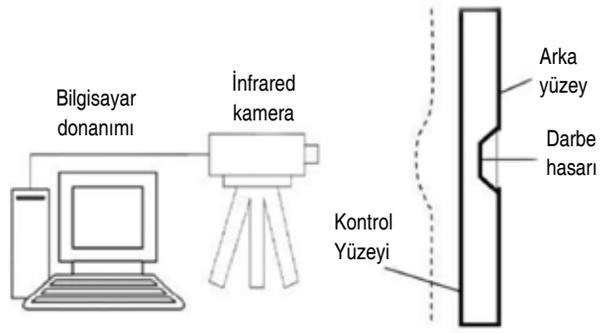
2.5 Termografik Kontrol

Yöntem kompozit ve metal malzemelerin yüzey darbe izlerini belirlemede etkilidir.



Şekil 4. Karbon Epoksi Levhada Bulunan Darbe Hasarlarının D-Sight Tekniği ile Elde Edilen Görüntüleri [13]

Kompozit yapılardaki tabaka ayrılmaları da tespit edilebilir. Geniş yüzeyler bir seferde kontrol edilir [14]. Yöntemin uygulanmasında öncelikle, tüm yüzeye sıcaklıkla renk değiştirebilen bir solüsyon uygulanır. Ardından yüzeyler genellikle spot ışıklarıyla ısıtılır. Isı enerjisinin yüzeye homojen olarak dağılmasını sağlamak önemlidir. Malzemenin içinde yayınan termal dalgalar, yapıdaki bir hatayla karşılaştığında saçılırlar ve dağılırlar. Yapılan çok sayıdaki fotograf çekimiyle hatalı



Şekil 5. Termografik Kayıt Düzeneği [16]

bölge tespit edilir [15]. Şekil 5'te gizli bir darbe hasarı için termografik kontrol düzeneği verilmiştir.

Aral ve Glare gibi metal plakalı, fiberli karma kompozitlerde de tabaka ayrılması tespitinde termografik kontrol etkili olmaktadır [17].

2.6 Senkronize Olmuş Basınç Dalgaları ile Kontrol

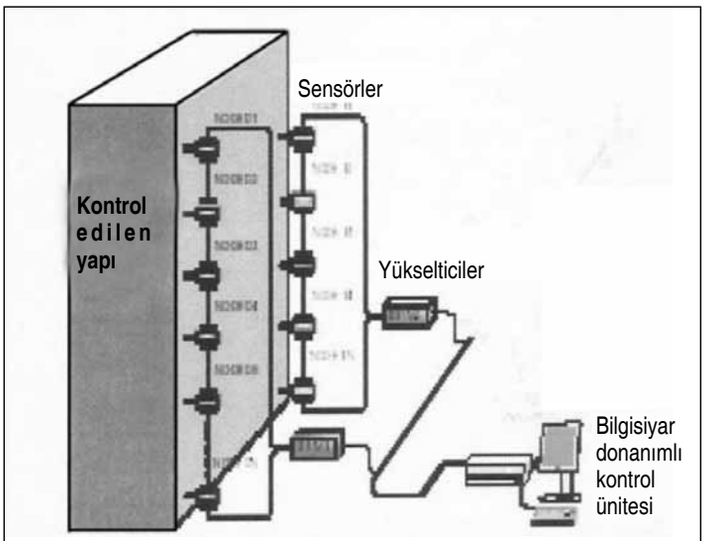
Yöntemde test parçası bir vakum sistemiyle basınç gerilmelerine maruz bırakılır. Test parçasının yüzeyleri laser ışınlarıyla taranarak, yüzeyden yansıyan ışınların basınç altında olan ve olmayan iki görüntüsü alınarak bir karşılaştırması yapılır. Böylece darbe hasarının oluşturduğu yüzey bozuklukları, kompozitlerde iç yapıda su birikiminin tespiti ve tabaka ayrılmaları mikro boyutlu iken belirlenebilir. Parçaya homojen bir basınç dağılımı uygulamak önemlidir. Kamera test parçasının yüzey topoğrafyasına uygun olarak bilgileri kaydeder [18].

2.7 Bondaskop ile Kontrol

Yöntem tabakalı kompozit yapılarda, darbe yüklerinin etkisiyle oluşan tabakalar arası ayrılmaların tespitinde etkilidir. Bondaskop ile kontrol metal ve ametal tüm tabakalı yapılara uygulanabilir. Cihaz probunun belirli bir konumu için, tüm tabakalar arası ayrılmalar görülebilir. Bondaskopda, ultrasonik empedans analizine bağlı olarak empedans amplitüd değişimleri, ekranda düşey olarak nokta hareketi sağlar. Faz değişimleri ise dairesel hareket sağlar. Böylece her tabakadaki ayrılma, ekranda net olarak sinyal oluşturur [4]. Ultrasonik kontrolde genellikle probun temas ettiği tabakayı kontrol edebiliriz. Daha derinlerdeki hatalar, ultrasonik enerji ilk tabakadan şiddetle yansıdığı için, görülemez.

2.8 Akustik Emisyon Tekniğiyle Kontrol

Yöntem diğer tüm yöntemlerden farklı olarak bir sürekli izleme tekniğidir, ultrasonik prensiple çalışır. Algılayıcı problar parçada hasar oluşumu sırasında yaratılan ultrasesleri kaydeder. Şekil 6'da çok sensörlü bir akustik emisyon cihaz donanımı verilmektedir [19]. Tabakalı kompozitlerde darbe hasarı



Şekil 6. Akustik Emisyon Cihazı [19]

tespitinde, test parçası yaklaşık 65°C sıcaklığa ısıtılır ardından cihaz problarıyla yüzey taranır ve hasarlı bölge belirlenir. Petek yapıdaki su tespitinde yöntem X ışını radyografisine göre %75 daha ekonomiktir [20].

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uçak bakım programlarının hazırlanması için üretici tarafından gerçekleştirilen araştırma geliştirme faaliyetlerinde ve hizmet ömrü boyunca uçağa uygulanan programlı bakım faaliyetlerinde, dikkate alınması gereken üç hasar türünden biri darbe hasarıdır. Darbe hasarının özellikle diğer hasarlarla, yorulma ve korozyon, aynı anda bulunabilme ihtimali, uçak yapısını risk altında bırakır ve tahribatsız kontrol yöntemleriyle tespiti önemlidir.

Darbe hasarının etkili olarak tespit edilebileceği yöntemlerin son olarak bir analizini yapacak olursak, yaygın olarak kullanılan yöntemler ve özel yöntemler olarak bir sınıflama

Tablo 1. Darbe Hasar Tespitinde Yaygın Olarak Kullanılan Tahribatsız Kontrol Yöntemleri.

YÖNTEM	KULLANIM ALANLARI	SAKINCALARI	UYGULANDIĞI PROGRAMLI BAKIM
Gözle Kontrol	Sadece yüzeye açık ve makro boyutlu hatalar.	Gizli yüzeyleri ve mikro boyutlu hataları göremez	Hat Bakım Hangar Bakım Büyük Bakım
Optik Aletlerle Kontrol	Küçük boyutlu hatalar görülebilir ve gizli yüzeylere ulaşılabilir.	İç yapıyı göremez.	Hat bakım Hangar Bakımı Büyük Bakım
Ultrasonik Kontrol	Yüzey ve iç yapı bozuklukları, mikro altı boyutlu hatalar görülebilir.	İnce kesitli metallerde ve tabakalı kompozitlerde yetersiz.	Hangar Bakımı Büyük Bakım
Radyografik Kontrol	Petek yapılı kompozitlerde darbe izleri ve su tespitinde etkili kompozitler için nötron radyografisi etkili	Elektromanyetik ışınlar çevre sağlığı açısından tehlikeli olabilir. Korunmayı gerektirir.	Büyük Bakım

Tablo 2. Darbe Hasar Tespitinde Kullanılan Özel Tahribatsız Kontrol Yöntemleri

YÖNTEM	KULLANIM ALANLARI	SAKINCALARI	UYGUYALANDIĞI PROGRAMLI BAKIM
D-Görüntülüme Tekniği	Geniş yüzeylerdeki mikro engebeler bir seferde kontrol edilebilir.	Sadece ulaşılabilir dış yüzeylerin kontrolü	Büyük Bakım
Termografik Kontrol	Yüzey engebelerinin ve kompozitlerde tabaka ayrılmalarının tespiti	Parçaya yüzeyden ulaşılabilirlik gerekli	Büyük Bakım
Basınç Dalgalarıyla Kontrol	Kompozitlerde tabaka ayrılmalarının ve petek içindeki suyun tespiti	Parçaya yüzeyden ulaşılabilirlik gerekli	Büyük Bakım
Bondaskop ile Kontrol	Kompozitlerde her tabakadaki ayrılmanın tespiti	Sadece kompozitlerde etkili	Büyük Bakım
Akustik Emisyon Tekniğiyle Kontrol	Bir sürekli izleme yöntemidir. Sadece petek içindeki su tespitinde etkili	Sadece kompozitlerde etkili	Büyük Bakım

yapabiliriz. Özel yöntemler genellikle ince kesitli ve düşük yoğunluklu metal alaşımları ve fiber takviyeli tabakalı kompozitler için etkilidir. Tablo 1 ve Tablo 2'de sırasıyla bu yöntemlerin bir analizi yapılarak, her birinin kullanım alanları, sakıncaları ve uygulandığı programlı bakım faaliyeti listelenmiştir.

Ayrıca, yeni malzemeler ve yeni yapısal şekiller için yöntemlerdeki gelişmeler önemlidir. Küçük boyutlu hataları görebilen hassas yöntemlerin kolay uygulanabilirliği gereklidir. Zaman kazancı için bilgisayar donanımlı ve otomatik test imkanı sunan yöntemlerin gelecekte de uygulanması kaçınılmazdır.

KAYNAKÇA

1. **Gaillardon, J.M.** 1985. "Establissement D'un Programme de Maintenance D'un Structure Avion," Ecolu Nationale Superieure D'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques, Toulouse-France.
2. **Groshal, A., Kim H.S.** 2006. "Damage Tolerance Manegement for Aircraft and Rotorcraft Structural Components," Journal of Aircraft, vol. 43, no. 6, s.1676-1684.
3. **Wegman, R.F.** 1989. "Nondestructive Test Methods for Structural Composites," Society for the Advancement of Material & Process Engineering.
4. Airbus A300 Nondestructive Testing Manual, Airbus Industrie, France.
5. Metals Handbook, 1989. "Nondestructive Evaluation and Qality Control," Metals Handbook, vol. 17, ASM International.
6. **Armatlı, Kayrak, M.** 2008. "Nondestructive Inspection of Aircraft Composite Plates by Using Immersion Ultrasonic Method,"The Third World Congress Aviation in the XXI Century, Ukraine National Aviation University, s.12.37-40, Ukraine.
7. **Krautkramer, J., Krautkramer, H.** 1990. "Ultrasonic Testing of Materials," Springer Verlag.
8. **Roman, R., Radek, L., Josef, J.** 2006. "Ultrasonic C-Scan and Shearography NDI Techniques Evaluation of Impact Defects Identification," NDT and E. International, Volume 39, s.132-142.
9. **Armatlı, M.** 1988. "Tahribatsız Muayene Usulleri ve Uçak Bakımında Kullanımının İncelenmesi," Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
10. **Halmshaw, R.** 1993. "Non destructive Testing," St Edmundsbury Pres Ltd.
11. **Bray, E.D., Stanley, R.K.** 1989. "Nondestructive Evaluation," McGrawHilll Inc.
12. **Laliberte, J.F., Straznicky, P.V., Poon, C.** 2005. "Impact Damage in Fiber Metal Laminates," AIAA Journal, vol. 43, no. 11, s.2445-2453.
13. **Hageniers, O.L.** 1993. "Sight for Large Aerea Aircraft Inspection," Nondestructive Inspection of Aging Aircraft, SPIE,s.248-256.
14. **Armatlı, Kayrak M.,** 2001. "Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri," Anadolu Üniversitesi Yayını, no. 1327, Eskişehir.
15. **Han, X., Favro, L.D., Thomas, R.L.** 1998. "Thermal Imaging for Characterizing Structure in Aging Aircraft," Materials Research Society Symp. Proc., vol. 503, s. 47-52.
16. **Wang, H., Fan, C., Sun, F.** 2011, "Fake-Defect Phenomenon in Thermographic Nondestructive Inspection of Inner Plate Surface," Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Volume 25, no 4, s.638-641.
17. **Mbrouki, F., Genest, M., Shi, G.** September 2007. "Numerical Modeling for Thermographic Inspection of Fiber Metal Laminates," NDT and E. International, Volume 40, s.419-427.
18. **Chatters, T.C., Pouet, F.B., Krisnaswamy, S.** 1993. "Nondestructive Testing of Adhesively Bonded Structures Using Syncronized Pressure Stressing," Nondestructive Inspection of Aging Aircraft, SPIE,s.236-247.
19. **Brooks, C.L.** 1999. "Real Time Age Degradation into the Structural Integrity Process," Research and Technology Organization Meeting Proceedings, 18, Paper 22, Canada Communication Group Inc.
20. **Bray, E.D., McBride D.** 1992. "Nondestructive Testing Techniques," Wiley Interscience Publication.

DÜZELTİ

626. sayımızda yayımlanan "Sıcak Şekillendirme Prosesi" makalesinin Yazar bilgileri bildirimden kaynaklı olarak eksik yazılmıştır. Yazar bilgileri aşağıdaki şekilde olacaktır.

A.Serdar Önal: Beyçelik-Gestamp AŞ., AR-GE Departmanı, Bursa, ahmetserdaronal@beycelik.com.tr
Hande Güler: Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle - Bursa, handeguler@uludag.edu.tr

Ayrıca, aynı makalede aşağıda yer alan 13 nolu kaynakça sehven eksik yazılmıştır.

13. Mori, K., Maki, S., Tanaka, Y. 2005. "Warm and Hot Stamping of Ultra High Tensile Strength Steel Sheets Using Resistance Heating," CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54, Issue 1,p. 209-212.

Düzeltilen makalenin tam metnine www.mmo.org.tr/muhendismakina sayfasından erişilebilir.